

Požiarna odolnosť a strata stability vybraných konštrukčných prvkov

Fire Resistance and Loss of Stability of Selected Structural Elements

Ing. Romana Erdélyiová

Ing. Matúš Ivančo

doc. Ing. Bohuš Leitner, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva
Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina, Slovenská republika
romana.erdelyiova@fbi.uniza.sk, matus.ivanco@fbi.uniza.sk,
bohus.leitner@fbi.uniza.sk

Abstrakt

Veľké priestory, ktoré si v súčasnosti vyžadujú požiadavky modernej spoločnosti so sebou prinášajú aj nové ohrozenia. Zvyšuje sa riziko požiaru stavieb, stážujú podmienky evakuácie a vykonania záchranných prác. Odolnosť stavebných konštrukcií najvýznamnejšie ovplyvňuje materiál, ktorý bol využitý pri ich výstavbe. Materiál určuje nielen únosnosť konštrukcie, dovolené zaťaženie, konštrukčnú pevnosť ale aj požiaru odolnosť. Práca sa venuje analýze požiarnej odolnosti vybraného konštrukčného prvku v prípade požiaru vzhľadom na materiál ktorý bol využitý pri výstavbe, na veľkosť návrhovej hodnoty tlakovej sily a veľkosti tepelného namáhania.

Kľúčové slova

Deformácia, osová sila, strata stability, tepelné namáhanie, únosnosť.

Abstract

The large spaces that currently require modern society also bring new threats. The risk of building fire increases, conditions for evacuation and rescue work. Resistance of building structures is most influenced by material used in their construction. The material determines not only the load bearing capacity of the structure, the permissible load, the structural strength but also the fire resistance. The work includes analysis of fire resistance of the selected structural element during fire with respect to material used in construction, on size of design pressure force and size of thermal stress.

Keywords

Axial force, bearing capacity deformation, loss of stability, thermal stress.

Úvod

Protipožiaru bezpečnosť stavieb chápeme ako súbor opatrení, ktoré je potrebné splniť pri navrhovaní, uskutočňovaní a užívaní stavieb. V Slovenskej republike sú tieto opatrenia upravené v požiadavkách platných právnych predpisov a súvisiacich technických noriem. Súbor týchto opatrení vyplýva, okrem iného, aj zo siedmich základných požiadaviek na stavby, ktoré ustanovila európska legislatíva t. j. Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady EÚ č. 350/2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje smernica Rady 89/106/EHS o zblížovaní právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa stavebných výrobkov (Smernica 89/106/EHS, Nariadenie 89/109/EHS).

Otázke požiarnej bezpečnosti stavieb, vzhľadom aj na mimoriadne udalosti, ktoré vznikli v nedávnom období sa venuje čoraz väčšia pozornosť a oceľové konštrukcie predstavujú nemalé riziko v oblasti protipožiarnej bezpečnosti stavieb, nakoľko ich tepelná rozťažnosť má veľký vplyv na celkovú stabilitu stavby, nosnosť konštrukcie, času evakuácie, vykonania záchranných prác a bezpečnosti osôb v stavbe. Požiarna odolnosť stavebných konštrukcií sa určuje na základe skúšky alebo výpočtom podľa technickej normy. Požiarna odolnosť je hodnotená kritériami (im príslušnými symbolmi) a časom v minútach. Požiarnu odolnosť je možné zvýšiť rôznymi opatreniami (STN 730821).

Konštrukčný materiál

Konštrukčné systémy je možné rozdeliť na základe použitého materiálu na konštrukcie: drevené, betónové, železobetónové, oceľové a iné. V stavebníctve dominujú zliatiny železa, najvýznamnejšou z nich je oceľ a železobetón (Ewer, 2010).

Oceľové konštrukcie sú typom konštrukcií s malou hmotnosťou, napriek tomu využiteľné na realizáciu veľkorozmerných stavieb, čo tieto konštrukcie dostalo do popredia v modernom stavebníctve. Fázový diagram ocele demonštruje zmenu feritu α na austenit γ , pričom dochádza k strate pevnosti a zvýšeniu tvárnosti ocele, preto je väčšina konštrukčných ocelí pri teplote 800 °C nepoužiteľná.

Oceľové konštrukcie umožňujú širokú statickú, dispozičnú, funkčnú a vzhľadovú variabilitu stavieb rôzneho druhu a účelu. V dôsledku pomerne vysokej pevnosti a tuhosti sa oceľové konštrukcie s výhodou používajú predovšetkým na náročných stavbách s významnými zaťažzeniami a rozmermi. (Bujňák, 2013).

Tepelné zaťaženie konštrukcií

Každý konštrukčný prvok je navrhnutý tak, aby počas svojej životnosti spoľahlivo prenášal určité zaťaženia. Takéto zaťaženia môžu byť rôzne, napríklad vlastná tiaž prvku, tiaž vrstiev podlahy, hmotnosti rôznych zariadení podľa prevádzky, pôsobenie vetra, snehu, požiaru a ďalšie. Kľúčovým negatívnym faktorom pôsobenia požiaru na konštrukcie je tepelné zaťaženie. Na konštrukciu okrem tepelného zaťaženia pôsobí aj stále mechanické zaťaženie. Výsledkom tepelného zaťaženia je zmena mechanických a tepelných vlastností konštrukcie, zmena fyzikálnych vlastností, zohriatie konštrukcií na vysoké teploty a deformácie jednotlivých prvkov konštrukcií. Zmeny nastávajú predovšetkým na základe vysokej tepelnej vodivosti ocele. Konštrukčné prvky sú projektované ako priame, pri teplotnom zaťažení však menia tvar - deformujú sa čo výrazne znižuje ich odolnosť voči strate stability. Nebezpečenstvo deformácie a straty stability hrozí najmä u stropných konštrukcií alebo pri požiaroch v uzavretom priestore. Hlavnými dôvodmi sú: najvyššia teplota pri požiari je pod stropom priestoru, rozpon oceľových konštrukcií je veľký a preto k deformácii významne prispieva aj vlastná tiaž, oceľové nosné prvky nesú nielen do nich upnuté ťažké diely (železobetónové dosky, tehelné klenby) ale aj úžitkové zaťaženie.

Metóda konečných prvkov

Pri matematickom modelovaní požiaru a straty stability konštrukcie je potrebné riešiť fyzikálne modely prúdenia tekutiny, prestupu tepla, napäťovo - deformačnej analýzy poddajných telies a ďalšie fyzikálne javy ktoré majú významný vplyv na presnosť riešenia problému (Handrik, 2015).

Metóda konečných prvkov je založená na princípe rozdelenia tvarovo zložitej oblasti na tvarovo jednoduchšie diskrétné oblasti - prvky, elementy na ktorých je možné nájsť riešenie vyššie uvedenými metódami. Formulácie metódy konečných prvkov musia zabezpečiť spojitosť riešenia na takto vytvorených hraniciach prvkov, čím sa zabezpečí spojitosť riešenia na celej oblasti. Pri formulácii metódy konečných prvkov sa používa určitý rád aproximácie riešenia na elemente a preto rozoznávame lineárne prvky, kvadratické prvky prípadne prvky vyššieho rádu. Zvyšovanie radu aproximácie rastie presnosť riešenia na druhej strane však súčasne rastie aj zložitosť riešenej úlohy a nároky na potrebný výpočtový výkon. Pre riešenie problematiky požiaru je potrebné diskretizovať celý objem, v ktorom prebieha požiar prípadne aj jeho okolie, problém je súčasne silne nelineárny a preto je ho nutné modelovať použitím objemových 3D elementov. Pri modelovaní stavebných konštrukcií je možné použiť viacero typov konečných prvkov: jednorozmerové prútové elementy, elementy na modelovanie rovinnej úlohy, škrupinové elementy a objemové elementy.

Rozoznávame lineárnu a nelineárnu stratu stability pričom metóda výpočtu nelineárnej straty stability je výpočtovo a časovo náročnejšia ale je vhodnejšia nakoľko dokáže zohľadniť pri výpočte miery bezpečnosti konštrukcie voči strate stability konštrukcie aj tvarové zmeny vyvolané účinkom tepla od požiaru a lokálnej plastizácie materiálu.

Modelovanie vybraného konštrukčného prvku

Modelovaný bol vybraný konštrukčný prvok stavby. Stĺp bol navrhnutý na základe požiadaviek uvedených v Eurokódoch zjednodušeným výpočtom. Najkritickejšia hodnota osovej sily N_{Rd} je v stĺpe s najväčšou záťažovou plochou. Osová sila (N_{Rd}) je rovná súčinu plochy prierezu vybraného stĺpa a výpočtovej pevnosti tohto stĺpa. Oceľobetónový stĺp pozostáva z I-profilu z ocele S235, ktorý je úplne obetónovaný betónom C30/37. Stĺp ma obdĺžnikový priemer a požiaru odolnosť R90. Stĺp bol identifikovaný ako kritický prvok viacpodlažnej stavby v prípade vzniku vnútorného požiaru. Takto navrhnutý stĺp spĺňa podmienku spoľahlivosti a je využitý na 96 % svojej navrhovanej odolnosti. Výpočty požiarnej odolnosti konštrukcie, definované v technických normách a právnych predpisoch uvažujú a rovnomernom zohrievaní prierezu telesa. Skutočnosti sa však prierez zohrieva nerovnomerne. Preto je nevyhnutné využiť fyzikálne zákony nato aby sme zistili nerovnomerné zohrievanie prierezu. (STN 920201-1).

Uskutočnená bola nelineárna analýza požiarnej odolnosti vybraného konštrukčného prvku. Pre uskutočnenie tejto analýzy boli navrhnuté 3 typy modelov:

1. oceľový stĺp pozostávajúci z I-profilu,
2. oceľobetónový stĺp zaťažovaný cez I-profil,
3. oceľobetónový stĺp zaťažovaný cez celý prierez.

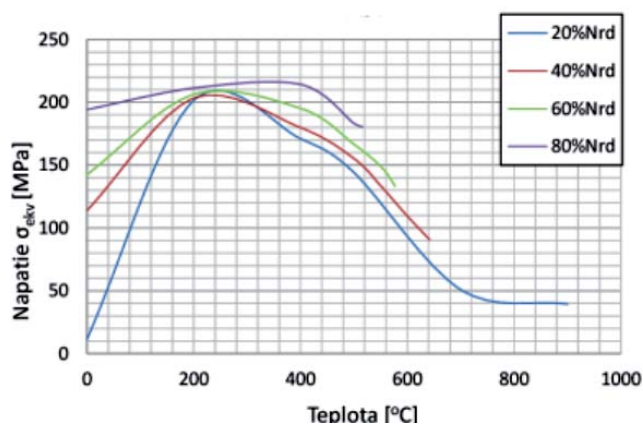
Maximálne osová sila prvku sa dá vypočítať pomocou Eurokódov. Aby prút vyhovoval medznému stavu únosnosti musí platiť podmienka: $N_{Sd} \leq N_{Rd}$ kde N_{Sd} je normová sila prúta určená z výpočtového zaťaženia (STN EN 1993-1-2).

Modely boli postupne zaťažované zvoleným percentuálnym podielom ich požiarnej odolnosti a to: 20 %, 40 %, 60 % a 80 % N_{Rd} . Tepelné zaťaženie bolo reprezentované teplotou stĺpa 20 °C, 200 °C, 400 °C, 500 °C, 700 °C a 900 °C, ktoré môže reálne stĺp exponovaný požiarom dosiahnuť.

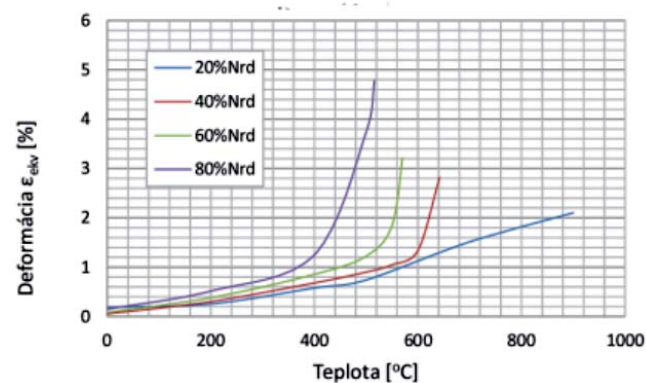
Oceľový stĺp pozostávajúci z I profilu

Prvý konštrukčný prvok je ako jediný zo skúmaných bez ochrannej vrstvy z betónu. Podľa výsledkov nelineárnej analýzy straty stability sa javí ako nevhodný pre použitie na konštrukcie výškových budov a veľkých zaťažení. Oceľový nosník už pri aplikácii 40 % zaťaženia N_{Rd} a pri zohriatí na teplotu 650 °C stráca

stabilitu. Deformácie stĺpa môžeme pozorovať už pri teplote 250 °C a 60 % N_{Rd} . Nosnosť nechránenej oceľovej konštrukcie pri požiaru rýchlo klesá, čím dochádza k poškodeniu prvkov konštrukcií, k strate stability, tento kaskádový efekt vedie až k zrúteniu stavby (obr. 1, obr. 2).



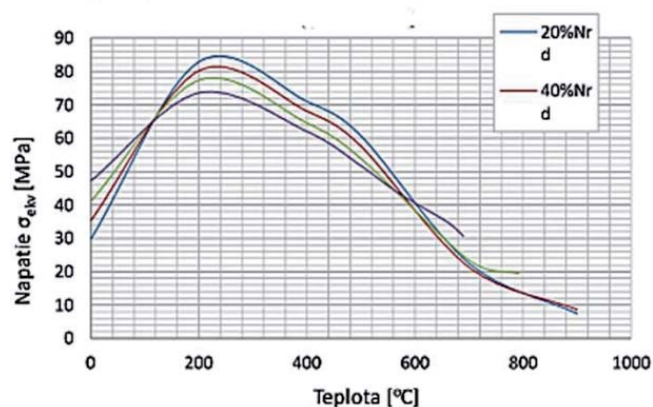
Obr. 1 Závislosť napätia a teploty oceľového stĺpa z I-profilu



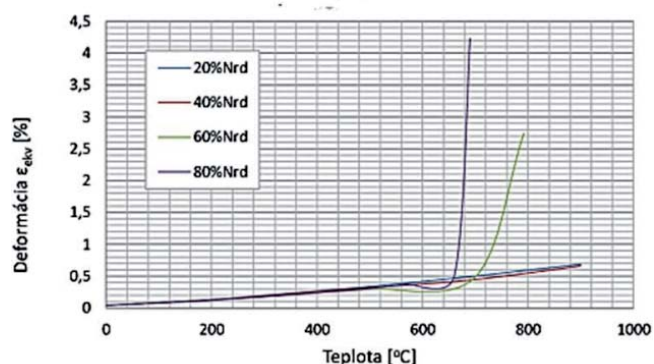
Obr. 2 Závislosť deformácie a teploty oceľového stĺpa z I-profilu

Oceľobetónový stĺp zaťažovaný cez I-profil

Stĺp dokázal preniesť zaťaženie 40 % N_{Rd} pri teplote 900 °C a pri aplikovanom zaťažení vyššom ako 80 % N_{Rd} došlo k strate stability konštrukcie až pri teplote 800 °C čo je v prípade konštrukčnej ocele vysoká teplota dosiahnutá pri požiaru bez straty stability (obr. 3, obr. 4).



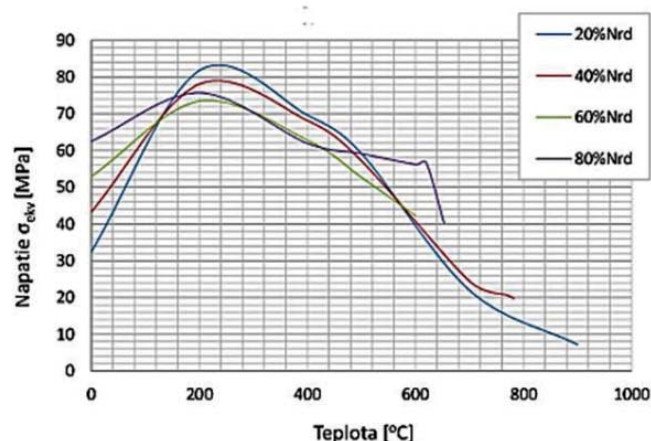
Obr. 3 Závislosť napätia a teploty spriahnutého oceľobetónového stĺpa zaťaženého I-prierezom



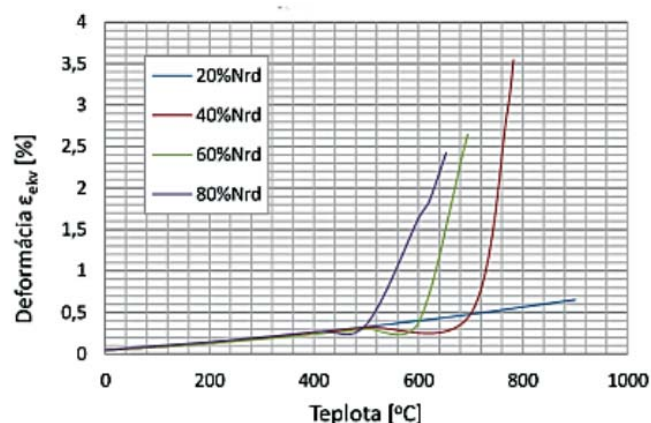
Obr. 4 Závislosť deformácie a teploty spriahnutého oceľobetónového stĺpa zaťaženého I-prierezom

Oceľobetónový stĺp zaťažený cez celý prierez

Celý výpočet nelineárnej straty stability prebehol iba pri zaťažení 20 % N_{Rd} , kedy stĺp vydržal všetky simulované teploty požiaru. Pri navrhovanom zaťažení 40 % N_{Rd} došlo k strate stability pri teplote 790 °C. Pri najvyššej skúšanej hodnote 80 % N_{Rd} došlo k strate stability prvku až pri teplote 650 °C (obr. 5, obr. 6).



Obr. 5 Závislosť napätia a teploty oceľobetónového stĺpa zaťaženého celým prierezom



Obr. 6 Závislosť deformácie a teploty oceľobetónového stĺpa zaťaženého celým prierezom

Interpretácia výsledkov

Skúmaná bola požiarna odolnosť troch typov konštrukcií pri rôznej návrhovej hodnote tlakovej sily N_{Rd} a rôznom tepelnom zaťažení. Zistené informácie o strate stability jednotlivých konštrukčných prvkov zobrazuje tab. 1.

Tab. 1 Miera protipožiarnej odolnosti vybraného konštrukčného prvku vzhľadom na maximálnu osovú silu

Typ konštrukčného prvku	Teplota pri strate stability			
	N_{Rd}	40 % N_{Rd}	60 % N_{Rd}	80 % N_{Rd}
Stĺp pozostávajúci iba z I-profilu ocelevej konštrukcie		650 °C	250 °C	-
Oceľobetónový stĺp zaťažený cez I-profil		900 °C	800 °C	700 °C
Oceľobetónový stĺp zaťažený cez celý prierez		790 °C	700 °C	650 °C

Ako najvhodnejší typ skúmanej konštrukcie sa javí oceľobetónový stĺp zaťažený iba cez I-profil. Nakoľko tento konštrukčný prvok vykazoval najvyššiu hodnotu požiarnej odolnosti pri vykonaných testoch. Naopak najnižšiu požiarnu odolnosť v testoch dosiahol oceľový stĺp z I-profilu, bez akejkoľvek ochrany obetónovaním. Železobetónový stĺp dosiahol vysokú požiarnu odolnosť pri nižších zaťaženiach.

Záver

Výškové budovy a veľkorozponové stavby sa stali neodmysliteľnou súčasťou moderných aglomerácií. Spomínané druhy výstavby so sebou prinášajú zvyšujúce sa riziko vzniku požiarov, zložitejšie podmienky z hľadiska evakuácie osôb a zásahu hasičských jednotiek. Preto je potrebné zabezpečiť vyššie nároky na stavebné materiály a konštrukcie takýchto stavieb. Uvedené riziká umocňuje aj skutočnosť, že tieto stavby sa vo väčšine prípadov stavajú ako komplexné systémy, v ktorých sa vyskytujú priestory s rôznou funkčnou náplňou a účelom využitia.

Príspevok bol venovaný analýze požiarnej odolnosti vybraného konštrukčného nosného prvku budovy. Modelovanie a nelineárna analýza vybraných konštrukčných prvkov prebehlo v programe Ansys. Nelineárne riešenie bolo determinované stratou stability najmä betónových prvkov stĺpa SOLID65. Pri nelineárnom riešení, deformácie nosníka narastali pomerne pomaly až do času straty stability nosníka kedy deformácie začali narastať rýchlejšie. Na základe vykonanej analýzy je možné tieto prvky porovnávať navzájom ale ich aj efektívnejšie využiť pri výstavbe budov.

Najlepším riešením je keď investor, projektant konštrukcie, projektant požiarnej bezpečnosti a odborníci na ochranné systémy dospejú k spoločnej dohode o zabezpečení protipožiarnej ochrany stavby, jej stability a technickej životnosti. Dôležité je prihliadať na potrebnú úroveň zabezpečenia požiarnej odolnosti (na základe charakteristického využitia stavby), na konkrétne využitie materiálu, vlastnosti tohto materiálu, typy nosníkov a ich prierezov, nosnosť stavby a iné obmedzujúce faktory. Určenie najvhodnejšej ochrany je niekedy náročné ale zjednodušiť ho môžu nástroje umožňujúce modelovanie a simuláciu rôznych udalostí v stavbe.

Použitá literatúra

- [1] BUJŇÁK, J. 2013.: *Kovové nosné konštrukcie stavieb*. Žilina: EDIS. ISBN 9788055406435.
- [2] EWER, J.; GALEA, E. 2010.: SMARTFIRE - The Fire Field Modelling Environment 2010, The Fifth European Conference on Computational Fluid Dynamics, *ECCOMAS CFD 2010* (Pereira, J. C. F., Sequeira, A., Pereira, J. M. C., eds.), Lisbon, Portugal, June 2010, ISBN 978-989-96778-1-4.
- [3] HANDRIK, M.; VAŠKO, M.; KOPAS, P.; MÓZER, V. 2015.: The linear and nonlinear stability loss of structures due to thermal load. In: The 20th International Conference: *Machine Modeling and Simulations*, MMS 2015.
- [4] SMERNICA RADY 89/106/EHS o zbližovaní právnych a správnych predpisov členských štátov týkajúcich sa stavebných výrobkov.

- [5] STN 73 0821: 1973 Požiarna bezpečnosť stavieb. Požiarna odolnosť stavebných konštrukcií.
- [6] STN 92 0201-1 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 1: Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku.
- [7] STN EN 1993-1-2: 2007 Eurokód 3: Navrhovanie oceľových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru.